

QK1865621

ISSN 0577-6686

CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

大尺寸个体化PEEK植入物精准设计与控性定制研究

李滌尘 杨春成 康建峰 王 玲 黄立军 王 磊

曹 毅 石长全 连 芬



中国机械工程学会 主办

万方数据

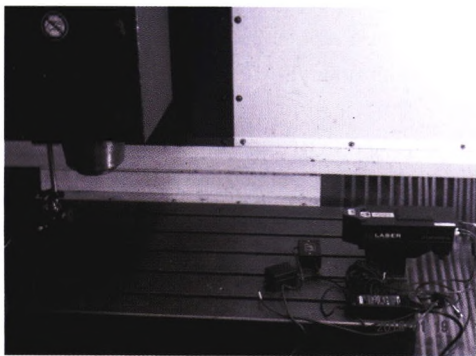
2018年54卷23期 半月刊



/// 机构学及机器人 ///

1 移动副离散误差运动的不变量评价方法

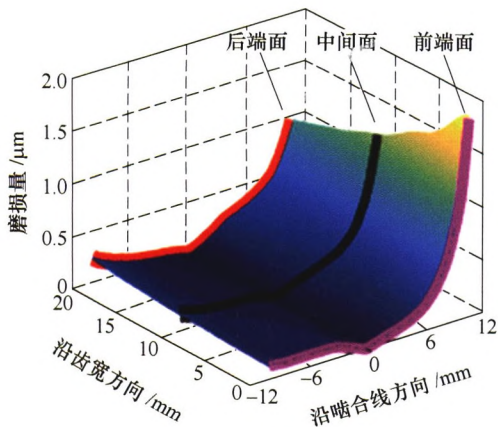
王德伦 吴 煜 王 智 董惠敏



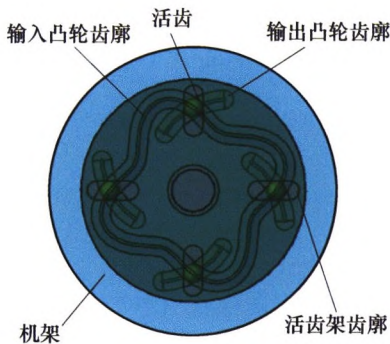
**摘要:** 提出了基于离散误差不变量的移动副误差运动评价方法。该方法不依赖于功能点与测量坐标系的选取,反映了误差运动的整体性质。通过 6D 高精度传感器获得运动刚体的 6 自由度误差参数。研究运动刚体上点、直线等几何特征的离散轨迹,并与理想曲线和曲面进行对比,建立了刚体上任意点的准线轨迹、任意方向的球面像曲线轨迹的误差评价模型。提取空间准线误差密度和球面方向误差密度两项为运动整体不变量,最小准线误差和最小球面像误差两项为运动特征不变量,以此作为误差运动的评价指标。开展了仪器不同安装位置的对比验证试验,结果表明,整体不变量与特征不变量评价指标是离散运动的固有性质,能更为准确客观地评价移动副的误差运动。

10 准静态与动态载荷下斜齿轮齿面粘着磨损计算

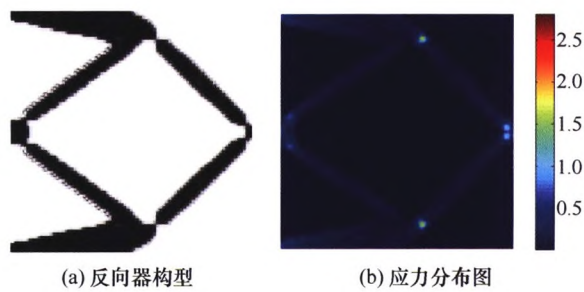
周长江 雷玉英 汪红兵 韩 旭



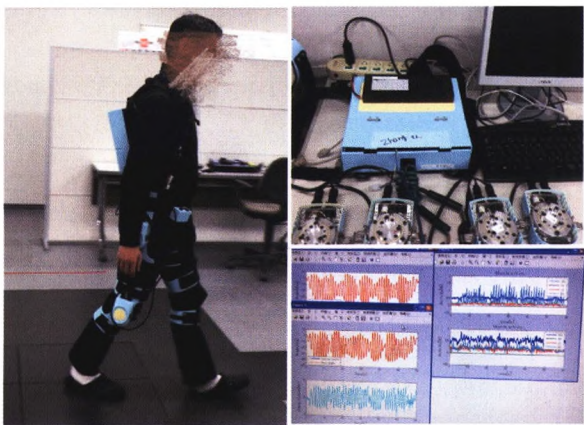
**摘要:** 基于反向圆锥滚子等效接触模型和 Archard 磨损计算通式,提出了一种适用于标准斜齿轮齿面粘着磨损的计算方法。由时变接触线长百分比和弯-扭-轴耦合动力学模型确定齿面载荷,根据等效接触模型和 Hertz 接触理论计算齿面压力和滑移距离,求出准静态与动态载荷下的齿面磨损量。通过将主动轮磨损曲线与相关文献结果比较,验证了上述方法的正确性。几何与工作参数对磨损量的影响分析显示,齿根与齿顶处的磨损量较大,且齿根的磨损量大于齿顶,节圆处的磨损量趋近于零;齿轮前端面至后端面,主动轮磨损量逐渐减小而从动轮磨损量逐渐增大;宽齿轮的磨损量沿齿宽渐趋均布。参数分析表明:增大模数、传动比、齿宽或减小扭矩均可降低磨损量,增大螺旋角或改变转速对减小齿面磨损的作用不明显。上述研究对于提高齿轮表面质量与传动性能,对于减磨设计具有一定的参考价值。



**摘要:** 融合活齿传动和凸轮机构两种传动形式的优点, 提出了摆动输出活齿凸轮机构, 并分析了其结构及传动原理。作为一种新颖的传动形式, 该机构具有齿数灵活、全齿啮合、摆角范围宽, 可按简谐曲线、等加速度曲线以及无停留修正梯形曲线等多种既定规律摆动输出的特点。借助凸轮曲线位移的已知性建立了输入、输出凸轮转角在任意时刻的对应关系以解决传动比不恒定而无法直接创建传动关系的问题, 进而推导出了输入、输出凸轮的理论齿形方程和工作齿廓方程。在理论分析的基础上, 给定设计参数并绘制输入、输出凸轮的理论齿形与工作齿廓啮合线以及机构啮合位形, 皆未发生干涉现象, 验证了方程推导的正确性, 为以后进一步的研究及应用提供了分析基础。



**摘要:** 采用拓扑优化方法获得柔顺机构构型容易出现类铰链结构, 导致应力集中、疲劳可靠性差。为了抑制类铰链结构, 提出了一种基于最大应力约束的柔顺机构拓扑优化设计方法。采用改进的固体各向同性材料惩罚模型(Solid isotropic material with penalization, SIMP), 以柔顺机构的互应变能最大化作为目标函数, 采用 P 范数方法对所有单元的局部应力凝聚化成一个全局化应力约束, 利用自适应约束缩放法使得 P 范数应力更加接近最大应力, 以机构的最大应力和体积作为约束, 建立柔顺机构最大应力约束拓扑优化模型, 采用全局收敛移动渐近线算法求解柔顺机构最大应力约束拓扑优化问题。结果表明, 采用 P 范数方法进行柔顺机构最大应力约束拓扑优化设计, 能够有效抑制类铰链结构。随着应力约束极限值减少, 获得机构构型由集中式柔顺机构逐渐转变为分布式柔顺机构, 应力分布更加均匀, 但机构的互应变能逐渐减小。



**摘要:** 针对步行辅助中人机交互柔顺性和髌膝关节协调自律控制的问题, 提出一种新型多关节协调自律控制方法, 该方法基于中枢模式发生器(Central pattern generator, CPG)网络, 同时具备单关节人机交流和多关节协调运动特性。建立左右侧髌、膝关节 4 个 CPG 单元及其对外交流机制, 改善了各关节处的人机交互柔顺性; 建立左右髌关节、左右膝关节 CPG 单元间的对称抑制连接及同侧髌膝关节 CPG 单元间的非对称内部抑制连接, 获得双侧髌膝关节间的逆相位及同侧髌膝关节的自然相位, 实现了人机交互环境下稳定的步行辅助。穿戴式步行试验证明了该方法对生成步行中自然髌、膝关节协调运动的有效性。最后, 采用肌肉活动强度、步长和步行速度三个指标, 运用对比试验的方法讨论和分析了步行辅助效果。



47 平面包络内啮合蜗杆传动关键参数对接触区域的影响分析

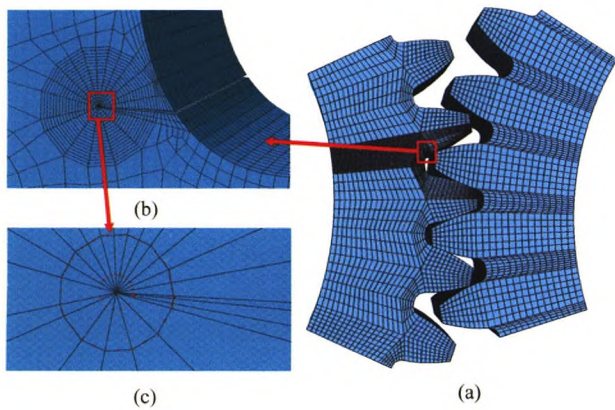
邓星桥 冯志鹏 李双岑 王 杰 王进戈



**摘要：**为了研究关键设计参数对平面包络内啮合蜗杆传动接触性能及承载能力的影响。基于齿轮啮合原理，构建平面包络内啮合蜗杆传动的空间齿面接触线方程，利用数值计算方法求得空间齿面接触线，并将其映射到蜗轮齿面，通过分析中心距、传动比、母平面倾角、蜗轮回转轴倾角、蜗轮转角、蜗杆分度圆系数、主基圆系数等不同参数对蜗杆齿面接触区域的分布情况，找出合理的设计参数范围,此外,根据初步分析结果，选取一组较为合理参数生成了平面包络内啮合蜗杆传动的三维模型。研究表明，传动比、母平面倾角、蜗轮转角对平面包络内啮合蜗杆传动的接触区域有较大影响，母平面倾角在  $18^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 、蜗轮回转中心轴倾角在  $30^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 、蜗轮转角在  $90^{\circ}\sim 138^{\circ}$  之间取值时，平面包络内啮合蜗杆传动的具有较好的接触区域。研究结果为平面包络内啮合蜗杆传动的后续研究奠定了理论基础。

56 基于解析有限元的齿根裂纹时变啮合刚度计算方法

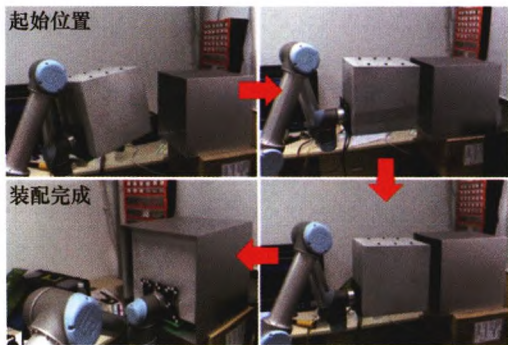
吴家腾 杨 宇 程军圣



**摘要：**当齿轮发生故障时，时变啮合刚度的变化能够反映齿轮故障特征大小。因此，时变啮合刚度在齿轮传动过程中是一个重要的动力学参数。提出一种新的齿根裂纹啮合刚度计算方法，即解析有限元法(Analytical-finite element method, A-FM)。考虑到齿轮发生故障时，啮合刚度解析模型计算精度较低，将应力强度因子引入裂纹齿轮的啮合刚度计算过程。首先定义应力强度因子与啮合刚度之间的关系，通过建立齿轮接触模型计算裂纹尖端附近的应力强度因子，然后将计算结果替代解析模型中故障刚度部分。由于应力强度因子能够敏感地识别齿根裂纹的局部微小变化，故该方法相比于解析法具有更高的计算精度，相比于有限元法具备更快的计算效率。同时，建立 6 自由度动力学模型，通过对其振动响应进行分析，仿真结果验证了所提方法的可行性。

63 基于机器人与视觉引导的星载设备智能装配方法

季旭全 王君臣 赵江地 张晓会 孙 振



**摘要：**当前大型星载设备的安装采用人工操作机械臂的方式完成。由于星载设备昂贵，装配过程在半封闭非直视条件下进行，需要多人进行人工观察与口令调整，耗费数小时，装配效率低下。为提升装配效率，实现装配过程的智能化与精准化，提出一种基于机器人与视觉引导的星载设备智能装配方法。采用机器学习与双目视觉实现装配体之间的精确位置测量；通过机器人手眼标定完成视觉空间到机器人空间的运动映射；综合分析装配路径的干涉状况，对装配路径进行机器人运动规划；最后通过虚拟现实技术实现装配过程的可视化。整个装配过程可自动完成，装配时间缩短在若干分钟以内。进行了卫星与星载设备的模型装配试验，结果表明装配误差小于 0.3 mm，验证了所提方法的有效性。



### 73 基于 REFOR 算法的多输出非线性系统动态参数化建模方法研究

罗 忠 刘昊鹏 朱云鹏 王 菲 韩清凯



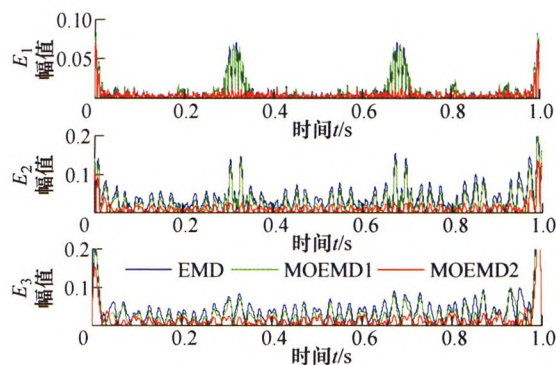
**摘要:** 针对多输出非线性系统动态模型的辨识问题, 提出一种新的非线性系统动态参数化建模方法, 即冗余向前延拓正交 (Redundant extended forward orthogonal regression, REFOR) 算法。该算法旨在消除传统向前延拓正交 (Extended forward orthogonal regression, EFOR) 算法因遗漏某些重要模型项而造成所建模型精度较低的问题。首先, 基于系统在各工况下辨识所得非线性有源自回归 (Non-linear autoregressive with exogenous inputs, NARX) 模型, 利用 REFOR 算法统一各模型结构得到模型系数与设计参数间的函数关系, 进而建立多输出非线性系统的动态参数化模型。其次, 以四自由度非线性系统为例, 说明了 REFOR 算法的优势及其在系统建模中的应用。最后, 利用 REFOR 算法建立悬臂梁的动态参数化模型, 并将 REFOR 预测输出与试验测得输出进行对比, 试验结果表明, 基于 REFOR 算法建立的非线性系统动态参数化模型, 能准确预测系统的输出响应, 为非线性系统建模方法的优化设计提供了理论基础。

### 82 可用于相干声源的快速反卷积声源成像算法

徐 亮 胡 鹏 张永斌 张小正

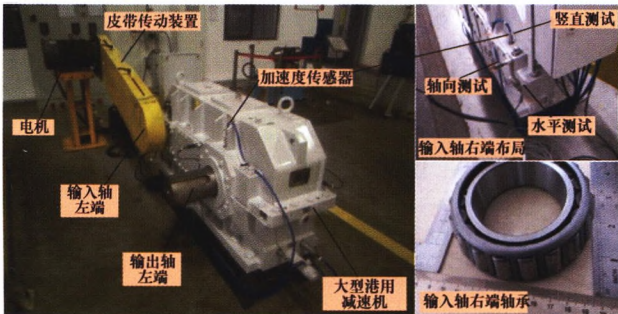


**摘要:** 提出一种可用于相干声源识别的快速反卷积声源成像算法 (Fast deconvolution approach for the mapping of coherent acoustic sources, FC-DAMAS)。该算法去除了反卷积声源成像算法 (Deconvolution approach for the mapping of acoustic sources, DAMAS) 中的互谱过程, 直接求解声源复数源强分布, 从而避免了互谱操作导致的待求未知数个数的剧增, 因此不再需要采用非相干声源假设来减少待求未知数, 使该算法能够同时适用于相干和非相干声源的识别; 其次, 该算法在反卷积求解过程中采用了与稀疏约束反卷积声源成像算法 (Sparsity constrained DAMAS, SC-DAMAS) 类似的 L1 范数稀疏约束反卷积方法, 使算法在相干和非相干声源的识别过程中均具有很高的计算精度和空间分辨率; 此外, 该算法中增加了对测量声压的主成分分析去噪过程, 弥补了取消互谱去噪过程造成的算法鲁棒性下降, 使算法具有与 SC-DAMAS 算法类似的噪声鲁棒性。与现有可用于相干声源识别的反卷积声源成像算法 (Deconvolution approach for the coherent sources, DAMAS-C) 相比, 提出的 FC-DAMAS 算法大大降低了待求解的矩阵方程规模, 使其计算效率得到了显著提升。通过数值仿真和实验验证了 FC-DAMAS 算法的优越性, 结果表明所提出的 FC-DAMAS 算法在应用范围、声源识别性能和实用性方面都更具优势, 更适于在实际工程中应用。



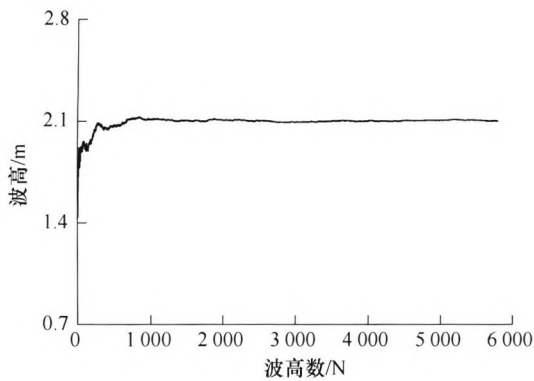
**摘要：**经验模态分解(Empirical mode decomposition, EMD)作为一种自适应的信号分解方法已经被广泛应用于诸多工程领域。为了提高 EMD 的分解性能，分别考虑从不同权值均值曲线的迭代筛分结果中选择正交性最小以及从每层内禀模态函数迭代结果中选择最优以保证整体分解最优，发展了两种均值优化经验模态分解(Mean-optimized empirical mode decomposition, MOEMD)算法。通过仿真信号分析，将 MOEMD 方法与 EMD 等现有信号分解方法进行了对比，结果表明，MOEMD 方法在分解性能和分解精度方面比 EMD 等方法有显著提高。最后，将 MOEMD 方法应用于转子碰摩故障信号分析，并与 EMD 进行了对比分析，结果表明，MOEMD 方法不仅能够有效地识别转子碰摩故障，而且识别效果优于 EMD 方法。

102 非凸罚正则化稀疏低秩矩阵的大型减速机圆锥滚子轴承微弱故障诊断



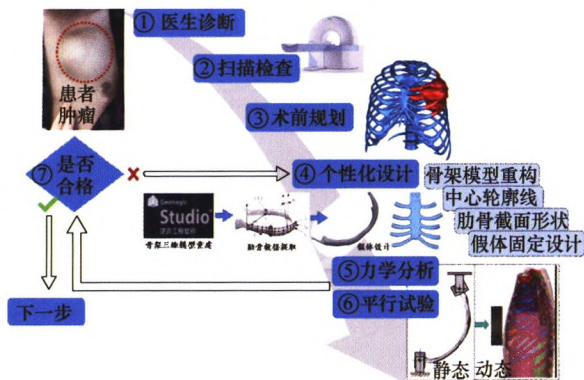
**摘要：**在强烈外界噪声下或轴承故障早期发展阶段，从轴承非平稳故障信号中提取微弱冲击成分是一个难点，针对这一问题，提出了一种新的基于非凸罚正则化稀疏低秩矩阵(Non-convex penalty regularization sparse low-rank matrix, NPRSLM)的轴承微弱故障特征提取方法。该方法不依赖振动信号结构的先验知识，也无需采集大量的样本信号来训练字典，避免了传统稀疏表示设计冗余字典带来的缺乏物理意义，通用性差等缺陷。该方法的核心思想是把采集的振动信号与待提取的故障脉冲看作一维矩阵(向量)，通过求解稀疏正则化的反问题得到故障脉冲信号。在建模上，通过引入非凸罚函数代替了传统最小化 L1-norm 融合套索算法，建立非凸罚正则化稀疏低秩矩阵模型，理论推导了所建立模型的严格凸性，并利用交替方向乘法(Alternating direction method of multipliers, ADMM)对模型进行求解，同时讨论了模型参数对模型算法的收敛性问题、凸性与非凸性边界取值问题等。仿真算例与大型减速机圆锥滚子轴承诊断实例表明：该方法不仅能提取隐藏在强烈外界噪声中的微弱冲击特征，而且改善了传统最小化 L1-norm 融合套索算法在提取微弱故障冲击时产生的脉冲能量大幅衰减与脉冲数目丢失问题。



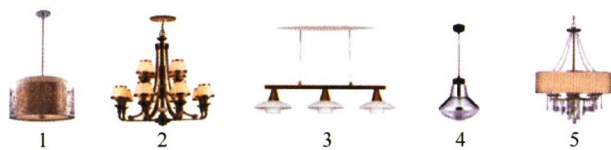


**摘要:** 提出了一种随机不规则波浪激励下的收放系统动力学随机数值仿真方法。该方法以随机不规则波浪为输入,应用雨流计数法分析收放系统动态特性响应随机分布特征,获取不同水深和海况条件下收放系统动态响应统计规律。以深海海底钻机收放系统为例,对随机不规则波浪激励引起的母船摇荡—脐带缆—深海海底钻机摇荡进行分析,建立了计入海水阻尼的深海海底钻机收放系统动力学模型。然后,以随机不规则波浪的有义波高为特征值,产生随机不规则波浪激励,应用收放系统动力学模型分析计算系统动态随机响应,应用雨流计数法分析收放系统动态响应特性随机分布特征,并对不同水深和海况条件下的钻机摆动状况、升沉运动以及脐带缆张力等动态特性进行随机数值仿真分析与讨论。所提出的方法为随机不规则波浪激励下,海洋装备收放系统动态特性分析提供了新途径。

/// 数字化设计与制造 ///



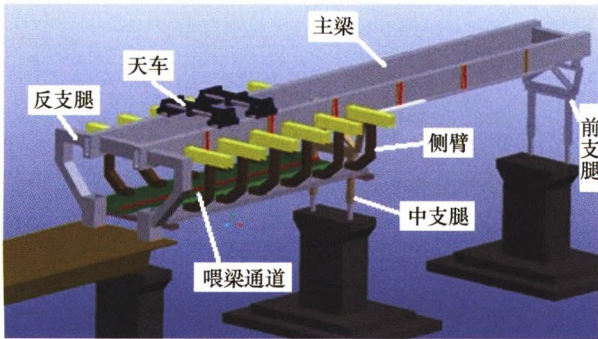
**摘要:** 我国每年有 98% 的骨缺损患者由于缺乏理想的人工植入物而成为功能受限者,个性化植入物设计制造已经成为我国从经验医疗转型精准医疗的关键部分。聚醚醚酮(Poly-ether-ether-ketone, PEEK)材料被普遍认为是目前最为理想的个体化植入物原材料之一,然而个体化 PEEK 植入物的复杂结构(尤其是大尺寸植入物)需要综合考虑 PEEK 材料性能、制造方法的工艺特性、临床植入应用环境等多方面的交叉影响。介绍了面向大尺寸个性化 PEEK 植入物的精准设计方法与控性定制 3D 打印方法,确立了个体化植入物设计方法与制造技术的几点准则,并描述了研究技术在一例大范围胸骨肿瘤治疗上的应用过程,所设计与制造的 PEEK 材料一体式胸肋骨假体,最终植入患者体内,协助大尺寸缺损胸壁的重建。



**摘要:** 将用户对产品的感性认知通过脑电数据量化,探求消费者认知过程脑电与产品意象的对应关系,并以此建立相应的意象推理模型。以吊灯为研究样本,通过多组感性意象形容词描述产品意象空间。基于被试的行为数据、脑电信号和事件相关电位,分析被试在吊灯产品意象辨别过程中的决策行为。研究不同意象匹配情况下,各脑区 N200、P300、N400 等脑电成分的波幅和分布情况,确定脑电成分与产品意象匹配的映射关系。基于被试的反应时长、选择率和脑电信号等评价因素,构建模糊推理的产品意象认知模型。通过试验验证,推理模型与意象语义评估的结果有一致性,具有较好的可靠性。



**摘要：**随着工程领域的不断拓展，越来越多具有显著时变特性的工程结构进入应用，时变结构动力学问题日渐凸显。从反问题的角度出发，介绍了时变结构动力学问题的研究背景与时变结构模态参数辨识的意义。在对时变结构模态参数辨识方法进行分类的基础上，给出了从参数化时域辨识模型中提取“时间冻结”模态参数的过程。系统全面地总结了时变结构模态参数时域辨识方法的研究进展，归纳了现阶段可用于辨识方法验证的实验系统，指出了该领域目前存在的一些问题以及今后需要进一步研究的主要方向。

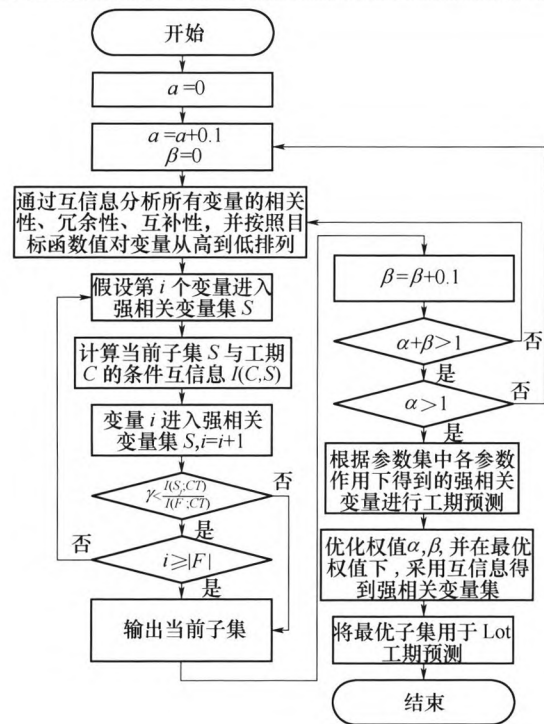


**摘要：**针对经典 TRIZ 理论工具解决复杂产品中多冲突问题具有的局限性，强势思维一般理论 (General theory of powerful thinking, OTSM) 主要解决复杂跨学科创新性问题并进行一般化的表达，但没有明确给出消除多冲突及寻求最优解决路径的一般方法。通过对复杂产品构建问题流网，从中选取关键问题，进而转化成冲突网，然后对其中的关键冲突进行判别并转化成参数网，应用 TRIZ 工具进行冲突解决并提出解决方案，提出了关键问题的判别方法和关键冲突网到参数网的转化规则，给出了问题流网、冲突网及参数网的构建过程，最终建立了面向复杂产品的问题流网络构建与求解过程模型。以工程机械 900 吨架桥机作为实例进行创新设计，验证了该过程模型的有效性。

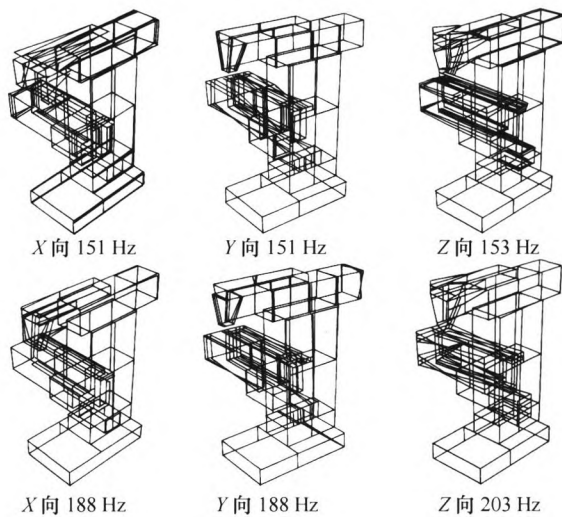


**摘要：**为提高聚焦型 X 射线脉冲星望远镜的探测性能，提出一种聚焦型 X 射线脉冲星望远镜(Focusing X-ray pulsar telescope, FoXPT)多目标优化与多场耦合分析方法。基于 X 射线全反射理论构建以探测灵敏度和重量最小化为目标的多目标优化模型，采用改进的 Pareto 法获得产品的非劣解集。基于弹性力学、热传导和热辐射理论构建了结构-热耦合方程，以遴选的优化结果构建产品三维模型和有限元模型，获得产品应力与位移分布并提取 X 射线反射镜面形误差，基于高次多项式函数重构结构-热耦合形变后的 X 射线反射镜面形，并进行拟合和误差分析。采用 Monte Carlo 光学追踪法对产品的聚集性能进行仿真分析与评价，实现了 FoXPT 多目标优化与多场耦合分析的有效集成。结果表明：当嵌套层数为 17 层时，重量和探测灵敏度同时获得满意解，分别为 3.112 kg 和  $6.15 \times 10^{-4}$  phs/cm<sup>2</sup>/s/keV，光机热耦合分析最大应力为 262.54 MPa，X 射线聚焦效率提升至 86.83%，满足实际工程设计要求。





**摘要：**工期是晶圆制造中的重要性能指标，对其进行精准预测可促进系统运行优化，保证订单的准时交付率。针对晶圆工期影响参数多、数据体量大且作用机理复杂的特点，提出数据驱动的晶圆工期关键参数过滤方法，识别影响晶圆工期波动的关键参数。分析晶圆工期潜在影响参数，构建候选参数集；基于信息熵方法设计关键参数的入选测度，综合度量参数间的相关性、冗余性与互补性；提出过滤式的关键参数识别算法，滤取影响工期波动的关键参数子集。采用实例数据，从 1 202 个候选参数中过滤得到 78 个关键参数，并采用神经网络模型进行工期预测，结果表明，该方法在预测精度和稳定性上都优于采用全局参数的多元线性回归与神经网络方法。

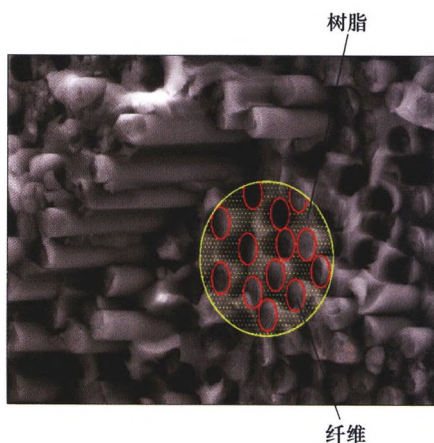


**摘要：**使机床切削点动柔度最大值在整个工作频率范围内最小，是机床实现无颤振稳定切削和高精度切削加工的要求，也是对其进行动态优化设计所应达到的目标。基于模态柔度和能量分布的机床结构动态优化设计原理，实现了一种以降低切削点交叉动柔度值为目标的优化方法。该方法利用切削点交叉动柔度与模态柔度的关系，首先寻找薄弱模态，再分析薄弱模态上各部件和环节的能量分布，确定该模态上的薄弱环节，然后在一定的约束条件下，改进这些环节的设计参数，从而实现优化目标。以某型万能工具铣床为例，在整机建模分析计算的基础上，阐述了该优化方法的具体应用。通过模态柔度和能量分布计算，判明该机床的薄弱环节是横梁-水平主轴体系统，针对薄弱环节设计参数的改进实现其质量和刚度的优化，优化后的静柔度和模态柔度都有较大的降低，而固有频率则相应提高，切削点动柔度的最大值降低近 18%。并在此基础上进行结构改进设计，改进前后机床的谐响应分析和切削试验对比结果表明优化方法有效地改善了机床的动态性能，再生颤振稳定性得到大幅提高。



199 碳纤维增强树脂基复合材料切削机理研究

贾振元 毕广健 王福吉 王小楠 张博宇



**摘要：**碳纤维增强树脂基复合材料(Carbon fiber reinforced plastic, CFRP)在细观尺度上由纤维、树脂及界面不同相组成，在宏观尺度上呈层叠特征，具有非均质性和各向异性。CFRP 切削过程的实质是在切削力、热共同作用下同时去除高强度纤维和低强度树脂的复杂过程，极易出现加工损伤。抑制加工损伤的前提是准确揭示 CFRP 切削机理，而揭示其切削机理的关键是分析材料去除过程。由于纤维是复合材料内部承受主要载荷的组成相，材料的去除过程主要由纤维的断裂过程决定。因此，通过分析切削过程中纤维的受力状态，以双参数弹性地基梁理论为基础，建立了虑及纤维所受法向及切向约束，且兼虑树脂及界面温变特性的单纤维切削模型，可准确表征纤维实际受力状态，实现纤维断裂过程的准确求解。研究发现：切削深度和纤维角度影响纤维变形深度，即切深越大，纤维变形深度越大，更易产生加工损伤；随着纤维角度增加，纤维变形深度减小。同时，为解决单纤维切削模型难以直接验证的难题，利用其求解得到宏观切削力理论值，通过与试验值对比，间接验证了单纤维切削模型的正确性。同时与未考虑被切削纤维所受切向约束和树脂及界面温变特性时相比，同时考虑这两个因素可使 CFRP 宏观切削力计算精度平均提升 20%。所建立的单纤维切削模型不仅能够从细观尺度准确揭示 CFRP 去除机理，而且可为后续有关损伤抑制的研究提供理论依据。

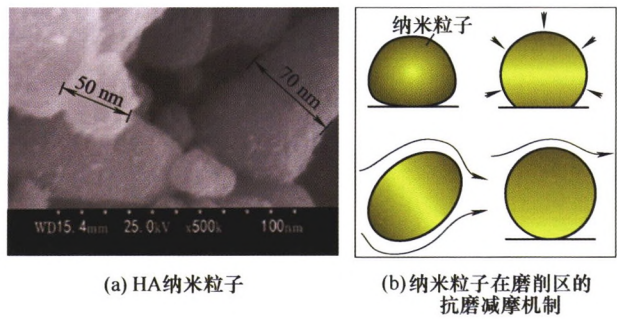
209 窄细槽分段速进给电解加工方法研究

任 锐 张戛萌 蒋丹燕 潘 骏 陈文华 胡旭晓

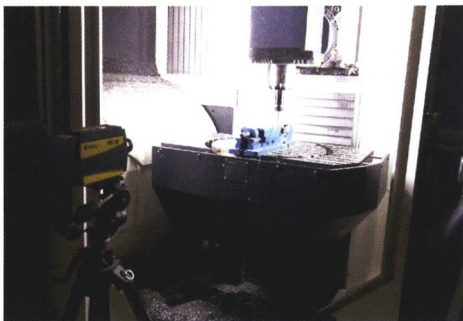


**摘要：**针对小间隙电解加工过程中极间间隙不稳定导致加工效率低下甚至发生短路等问题，以窄细槽电解加工过程为研究对象，提出自适应于工件蚀除速度的电极进给分段速加工方法。建立极间电流与加工深度之间的理论关系模型，采用单因素实验法对理论模型进行修正，使其反映实际加工过程。依据电解过程中深度与电流的变化规律，建立电极进给速度实时修正方程，实现电解过程不同进给速度段的划分。采用速度线性矢量混合算法，构建速度控制方程，实现各段速间的平稳过渡，保证电极进给速度变化时极间电流的稳定。实验结果表明，分段速进给控制方法能有效避免小间隙电解过程中由于进给速度与工件蚀除速度不匹配而导致的短路现象，有效保证窄细槽电解加工效率与轮廓精度。





**摘要:** 基于恒定热流密度的温度场理论计算值与实际温度值的误差较大,是当前磨削温度场理论研究的瓶颈。建立了不同冷却条件下的对流换热系数及材料内部的热传导模型,通过实时采集动态磨削力,利用高次高斯函数拟合建立了动态热流密度模型,并以此为基础建立了神经外科骨磨削温度场预测新模型。在干式磨削、喷雾式及纳米粒子射流喷雾式冷却条件下对骨磨削温度场进行了数值分析,并采用与人体颅骨力学性能最相近的新鲜牛股骨密质骨,采用羟基磷灰石纳米粒子及生理盐水进行了试验验证。结果表明,与试验测得温度值相比,采用基于恒定热流密度的温度场模型计算的温度值误差为 18.8%,而采用新模型计算的温度值误差为 6.6%,理论分析与试验结果吻合,即骨磨削温度场预测新模型更符合实际工况。



**摘要:** 针对铣削加工过程中产生的振动现象,提出了一种隐式 Adams 方法 (Implicit Adams method, IAM) 来预测铣削加工过程的稳定性。考虑再生颤振的铣削加工动力学方程可以表示为时滞线性微分方程,将刀齿周期可分为自由振动阶段和强迫振动阶段,对强迫振动阶段进行离散,运用 IAM 方法构建状态传递矩阵,利用 Floquet 理论,判定系统的稳定性,获得系统的稳定性叶瓣图。Matlab 软件仿真结果表明, IAM 方法是预测铣削稳定性的一种有效方法。随着离散数的增加, IAM 方法的收敛速度要快于一阶半离散法 (First-order semi-discretization method, 1st-SDM) 和二阶全离散法 (Second-order full-discretization method, 2nd-FDM), 离散数较少的 IAM 方法能达到离散数较多的 1st-SDM 方法和 2nd-FDM 方法的局部离散误差。此外,在单自由度和双自由度动力学模型下,三种方法的稳定性叶瓣图显示, IAM 方法预测铣削稳定性的预测精度均好于 1st-SDM 方法和 2nd-FDM 方法,计算效率远远高于 1st-SDM 方法,稍高于 2nd-FDM 方法。切削试验和仿真结果表明, IAM 方法的预测精度和可靠度均好于 1st-SDM 方法和 2nd-FDM 方法。



CONTENTS

1     **Evaluation Based on Invariants for Discrete Error Motion of Prismatic Pair**  
WANG Delun   WU Yu   WANG Zhi   DONG Huimin

10    **Adhesive Wear Models for Helical Gears under Quasi-static and Dynamic Loads**  
ZHOU Changjiang   LEI Yuying   WANG Hongbing   HAN Xu

23    **Transmission and Tooth Profile Equation of Swing Output Movable Teeth Cam Mechanism**  
LI Jianfeng   ZHAO Hongwei   ZHANG Leiyu   YU Yang

32    **Topological Design of Compliant Mechanisms with Maximum Stress Constraint**  
ZHAN Jinqing   LONG Liangming   LIU Min   ZHANG Xianmin

39    **Hip-knee Joints Coordinated Autonomous Control Method for a Wearable Robot**  
ZHANG Xia   CHEN Renxiang   CHEN Lili   HASHIMOTO Minoru

47    **Analyze the Influence of Key Parameters on the Contact Zone for the Planar Enveloping Internal-meshing Worm Drive**  
DENG Xingqiao   FENG Zhipeng   LI Shuangcen   WANG Jie   WANG Jingde

56    **The Time-varying Mesh Stiffness Calculation for Gear Tooth Crack based on Analytical-finite Element Method**  
WU Jiateng   YANG Yu   CHENG Junsheng

63    **Intelligent Robotic Assembly Method of Spaceborne Equipment Based on Visual Guidance**  
JI Xuquan   WANG Junchen   ZHAO Jiangdi   ZHANG Xiaohui   SUN Zhen

73    **Dynamic Parametrical Modeling Method of Nonlinear Systems with Multiple Outputs Based on REFOR Algorithm**  
LUO Zhong   LIU Haopeng   ZHU Yunpeng   WANG Fei   HAN Qingkai

82    **A Fast Deconvolution Approach for the Mapping of Coherent Acoustic Sources**  
XU Liang   HU Peng   ZHANG Yongbin   ZHANG Xiaozheng

93    **Mean-optimized Empirical Mode Decomposition and Its Application in Rotor Fault Diagnosis**  
ZHENG Jinde   PAN Haiyang   CHENG Junsheng

102   **Incipient Fault Diagnosis for Large Reducer Taper Roller Bearings Based on Non-convex Penalty Regularization Sparse Low-rank Matrix Approach**  
LI Qing   LIANG STEVEN Y



**112 A Random Numerical Simulation Method for Launch and Recovery System of Seafloor Drill**  
JIN Yongping WAN Buyan LIU Deshun PENG Youduo GUO Yong

**121 Precision Design and Control-performance Manufacturing Research of Large-size Individualized PEEK Implants**  
LI Dichen YANG Chuncheng KANG Jianfeng WANG Ling HUANG Lijun WANG Lei CAO Yi  
SHI Changquan LIAN Qin

**126 Study of Electroencephalography Cognitive Model of Product Image**  
YANG Cheng CHEN Chen TANG Zhichuan

**137 Research Progress on Time-domain Modal Parameter Estimation Methods for Linear Time-varying Structures**  
MA Zhisai DING Qian LIU Li ZHOU Sida

**160 The Problem Flow Network Building and Solving Process Model for Complex Product**  
ZHANG Jianhui LIANG Rui HAN Bo TAN Runhua SUN Jianguang

**174 Pareto-based Multi-objective Optimization of Focusing X-Ray Pulsar Telescope and Multi-physics Coupling Analysis**  
LI Liansheng DENG Loulou MEI Zhiwu LÜ Zhengxin LIU Jihong

**185 Big Data Driven Key Factor Identification for Cycle-time Forecasting of Wafer Lots in Semiconductor Wafer Fabrication System**  
WANG Junliang ZHANG Jie

**192 Dynamic Optimization Design of Machine Tool Based on Modal Flexibility and Energy Distribution**  
LIAO Yongyi LIAO Baiyu

**199 The Research of Machining Mechanism of Carbon Fiber Reinforced Plastic**  
JIA Zhenyuan BI Guangjian WANG Fuji WANG Xiaonan ZHANG Boyu

**209 Pulse Electrochemical Narrow Slot Machining Based on Segmented Feeding Control Method**  
REN Kun ZHANG Yumeng JIANG Danyan PAN Jun CHEN Wenhua HU Xuxiao

**215 A New Model for Predicting Neurosurgery Skull Bone Grinding Temperature Field**  
YANG Min LI Changhe ZHANG Yanbin JIA Dongzhou ZHANG Xianpeng LI Runze

**223 Prediction of the Milling Stability Based on the Implicit Adams Method**  
ZHI Hongying YAN Xianguo DU Juan CAO Qichao ZHANG Tangsheng

《机械工程学报》第十届编委会

荣誉主任

王补宣 (院士)    路甬祥 (院士)    潘际銮 (院士)

荣誉委员

王玉明 (院士)    王先逵 (教授)    石治平 (研高)    叶声华 (院士)    宁汝新 (教授)    过增元 (院士)  
刘 飞 (教授)    刘人怀 (院士)    刘大响 (院士)    刘友梅 (院士)    关 桥 (院士)    杨叔子 (院士)  
林尚扬 (院士)    周孔亢 (教授)    柳百成 (院士)    钟 掘 (院士)    钟秉林 (教授)    闻邦椿 (院士)  
徐金梧 (教授)    徐滨士 (院士)    郭孔辉 (院士)    温诗铸 (院士)    谢友柏 (院士)    熊有伦 (院士)  
潘健生 (院士)

主 任

钟群鹏 (院士)

副 主 任

王文斌 (编审)    王国彪 (教授)    陈学东 (院士)    陈超志 (研高)    黄 田 (教授)    雒建斌 (院士)  
MCCARTHY J Michael (教授)

国内委员

丁 汉 (院士)    王 雪 (教授)    王田苗 (教授)    王立平 (教授)    王庆丰 (教授)    王时龙 (教授)  
王树新 (教授)    王祖温 (教授)    王润孝 (教授)    孔祥东 (教授)    邓宗全 (院士)    卢秉恒 (院士)  
史铁林 (教授)    付铭旺 (副教授)    仪垂杰 (教授)    吕 明 (教授)    刘 强 (教授)    刘少军 (教授)  
刘宏民 (教授)    刘献礼 (教授)    刘德顺 (教授)    孙汉旭 (教授)    严新平 (教授)    李大勇 (教授)  
李永堂 (教授)    李圣怡 (教授)    李杨民 (教授)    李荣彬 (教授)    李荣德 (教授)    李剑峰 (教授)  
杨华勇 (院士)    杨兆军 (教授)    杨兆建 (教授)    何存富 (教授)    张 峥 (教授)    张士行 (教授)  
张义民 (教授)    张宪民 (教授)    张湘伟 (教授)    陈 新 (教授)    陈 鹰 (教授)    陈昭彰 (教授)  
陈朝阳 (教授)    邵新宇 (教授)    苑世剑 (教授)    苑伟政 (教授)    范光照 (教授)    林忠钦 (院士)  
周祖德 (教授)    项昌乐 (教授)    赵 继 (教授)    赵 韩 (教授)    赵丁选 (教授)    胡正寰 (院士)  
钟志华 (院士)    姚振强 (教授)    秦大同 (教授)    袁巨龙 (教授)    袁寿其 (教授)    耿荣生 (教授)  
贾振元 (教授)    顾佩华 (教授)    徐西鹏 (教授)    高咏生 (教授)    高金吉 (院士)    郭万林 (院士)  
郭东明 (院士)    黄明辉 (教授)    黄洪钟 (教授)    梅雪松 (教授)    葛世荣 (教授)    韩 旭 (教授)  
曾 攀 (教授)    谢建新 (院士)    雷源忠 (研究员)    廖运炫 (教授)    谭建荣 (院士)    谭援强 (教授)  
翟婉明 (院士)    黎 明 (研究员)    檀润华 (教授)

国外委员

ALGIN Vladimir (白俄罗斯)	CAO Dongpu (英国)	CAVALLUCCI Denis (法国)
CECCARELLI Marco (意大利)	CHEN Ye-Hwa (美国)	CHEN Yongkang (英国)
CHEN Yubao (美国)	CHENG Harry H (美国)	CHENG Kai (英国)
CHETWND Derek G (英国)	CHIU George (美国)	DAI Jiansheng (英国)
DEAN Trevor Anthony (英国)	DONG Zuomin (加拿大)	FATIKOW Sergej (德国)
FENG Yuntian (英国)	FLEWITT Peter E J (英国)	GAO Wei (日本)
GE Qiaode Jeffrey (美国)	GIOVANOLA Jacques (瑞士)	GOGU Grigore (法国)
GU Fengshou (英国)	GUO Yuebin (美国)	HAGIWARA Ichiro (日本)
HUANG Yong (美国)	HUANG Han (澳大利亚)	IWATSUKI Nobuyuki (日本)
JAUREGUI Juan Carlos (墨西哥)	Wallaschek Jörg (德国)	LI Dongyang (加拿大)
LI Xiaoping (新加坡)	LIM Teik Chin (美国)	MORGAN Michael (英国)
PARK Jong-Kweon (韩国)	SINAPIUS Michael (德国)	SU Chunyi (加拿大)
SU Daizhong (英国)	TIAN Guiyun (英国)	WANG Jun (澳大利亚)
XUE Deyi (加拿大)	YANG Lianxiang (美国)	YE Lin (澳大利亚)
ZHANG Bi (美国)	ZHANG Chun(Chuck) (美国)	ZHANG Hongchao (美国)
ZHANG Liangchi (澳大利亚)	ZHAO Xudong (英国)	ZHOU Libo (日本)
ZUO Mingjian (加拿大)		

